

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Факультет інформатики та обчислювальної техніки  
Кафедра автоматики та управління в технічних системах**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Олександр РОЛІК

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Дипломний проект  
на здобуття ступеня бакалавра  
за освітньо-професійною програмою «Комп'ютеризовані системи управління»  
спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»  
на тему: «Система автоматичного налаштування струнних музичних  
інструментів»**

Виконав:

студент IV курсу, групи ІА-61

Проценко Антон Юрійович \_\_\_\_\_

Керівник:

Заступник декана, к.т.н., доцент,

Писаренко Андрій Володимирович \_\_\_\_\_

Рецензент:

доц. каф. ТК, к.т.н., доц.

Ткач Михайло Мартинович \_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цьому дипломному  
проекті немає запозичень з праць інших  
авторів без відповідних посилань.

Студент (-ка) \_\_\_\_\_

Київ – 2020 року

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Факультет інформатики та обчислювальної техніки**

**Автоматики та управління в технічних системах**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма «Комп'ютеризовані системи управління»

«Затверджую»

Завідувач кафедри

О.І.

Ролік

«\_\_»

\_20\_\_р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проєкт студенту**

**Проценка Антона Юрійовича**

1. Тема проєкту «Система автоматичного налаштування струнних музичних інструментів», керівник проєкту Писаренко Андрій Володимирович к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від «\_07\_» \_\_травня\_\_ 2020р. №1081-с.

2. Термін подання студентом проєкту 09.06.2020

3. Вихідні дані до проєкту: контролер з окремими блоками драйверів та двигунів для закріплення на музичних інструментах, модель алгоритму ШПФ що здатна розпізнавати частоту окремих струн та порівнювати її з еталонною.

4. Зміст пояснювальної записки: аналіз предметної області та огляд існуючих рішень, опис розробленого рішення, опис роботи алгоритму ШПФ, опис структурної схеми, опис функціональної схеми, вибір окремих компонентів.

5. Перелік графічного матеріалу: схема структурна, схема функціональна, блок-схема алгоритму роботи системи, блок-схема алгоритму ШПФ.

6. Дата видачі завдання 30 квітня 2020  
року \_\_\_\_\_

Календарний план

№	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Аналіз предметної області	10.03.20 – 21.03.20	
2	Огляд існуючих рішень	21.03.20 – 05.04.20	
3	Опис алгоритму ШПФ	05.04.20 – 17.04.20	
4	Розробка моделі алгоритму ШПФ в середовищі MATLAB	17.04.20 – 28.04.20	
5	Перевірка роботи моделі та її коректування	28.04.20 – 30.04.20	
6	Проектування системи та її компонентів	30.04.20 – 10.04.20	
7	Підбір компонентів	10.05.20 – 15.05.20	
8	Розроблення схем та діаграм	15.05.20 – 25.05.20	
9	Оформлення текстової документації	25.05.20 – 30.05.20	

Студент

Антон ПРОЦЕНКО

Керівник

Андрій ПИСАРЕНКО

## АНОТАЦІЯ

Проценко А.Ю. Система автоматичного налаштування струнних музичних інструментів. КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, 2020.

Пояснювальна записка складається з 5 розділів, 60 с. тексту, містить 32 рисунки, посилання на 53 літературних джерела, додаток та 4 кресленики.

Ключові слова: система налаштування, струнний музичний інструмент, алгоритм ШПФ.

Об'єктом розробки є система автоматичного налаштування струнних музичних інструментів.

Мета розробки – підвищення точності та зручності налаштування струнних музичних інструментів.

У дипломному проєкті розроблена система автоматичного налаштування струнних музичних інструментів, а саме: створена модель використання алгоритму ШПФ для аналізу частоти поточної вібрації струн та порівняння її з еталонною. Підібрані окремі компоненти, використовуючи які можна побудувати систему, подібну до описаної.

## SUMMARY

Protsenko A.Yu. System for automatic tuning of stringed musical instruments. KPI them. Igor Sikorsky, Kyiv, 2020.

The explanatory note consists of 5 sections, 60 p. text, contains 32 figures, references to 53 literature sources, appendix and 4 drawings.

Keywords: tuning system, stringed musical instrument, FFT algorithm.

The object of development is a system of automatic tuning of stringed musical instruments.

The purpose of the development is to increase the accuracy and convenience of tuning stringed musical instruments.

The diploma project developed a system of automatic tuning of stringed musical instruments, namely: a model of using the FFT algorithm to analyze the frequency of the current vibration of the strings and compare it with the reference. Selected individual components, using which you can build a system similar to the one described.

**Пояснювальна записка  
до дипломного проекту  
на тему: «Система автоматичного налаштування  
струнних музичних інструментів»**

Київ – 2020 року

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК АБРЕВІАТУР, СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	9
ВСТУП .....	10
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ .....	11
1.1 Загальні відомості .....	11
1.1.1 Класифікація струнних музичних інструментів .....	11
1.1.2 Характеристики струнних музичних інструментів .....	12
1.2 Існуючі рішення .....	16
1.2.1 Snark SN-8 .....	16
1.2.2 Roadie tuner .....	18
1.2.3 Smart Tuner T2 .....	20
1.2.4 Tronical Tune .....	22
3.3 Висновки до розділу .....	24
2 РЕАЛІЗАЦІЯ ВЛАСНОГО РІШЕННЯ .....	25
2.1 Алгоритм роботи автоматичного тюнера.....	25
2.2 Алгоритм швидкого перетворення Фур'є .....	28
2.3 Реалізація алгоритму в середовищі MATLAB .....	34
3 ОПИС СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ .....	37
4 ОПИС ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ.....	40
5 ПІДБІР КОМПОНЕНТІВ.....	42
5.1 Контролер.....	42
5.2 Серводвигун .....	43
5.3 Драйвер серводвигунів .....	44
5.4 Рухомі елементи .....	46
5.5 Кроковий двигун .....	47
5.6 Драйвер крокових двигунів .....	49
5.7 Насадки на кілки .....	51
5.8 Мікрофон.....	54
5.9 BMS .....	55
5.10 Батарейний відсік .....	56

					<b>ІА61.220БАК.005 ПЗ</b>			
	Ар	№ докум.	Підп	Да				
Розроб.	Проценк				Система автоматичного налаштування струнних музичних інструментів	Літ.	Арку	Аркуші
	Писарен						1	60
						НТУУ(КПІ) ФІОТ група ІА-61		
Н.								
Затв.								

5.11 Акумулятори .....	57
ВИСНОВКИ.....	59
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	61
ДОДАТОК А .....	<b>Помилка! Закладку не визначено.</b>

					ІА61.220БАК.005 ПЗ	А
З	А	№ докум.	Підп	Д		
						8



## ПЕРЕЛІК АБРЕВІАТУР, СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ДПФ – Дискретне перетворення Фур'є

ШПФ – Швидке перетворення Фур'є

АЦП – Аналогово-цифровий перетворювач

BMS – Battery management system

					ІА61.220БАК.005 ПЗ	А
З	А	№ докум.	Підп	Д		9

## ВСТУП

З поширенням музичної культури в сучасному світі, струнні музичні інструменти стали доступними для людей будь якого віку та рівня майстерності. Проте необхідність регулярного налаштування інструменту часто є непростю задачею та може відлякувати потенційних музикантів. Навіть у професіоналів точне налаштування часто займає багато часу.

Ще в минулому столітті, основним способом налаштування струнного інструменту, було використання камертону з відомою частотою та людського слуху для порівняння. Для такого налаштування необхідним критерієм є дуже чутливий та натренований слух, що мають професіональні музиканти або спеціальні майстри. Цей спосіб налаштування в наш час є застарілим та не придатним до застосування більшістю власників музичних інструментів.

Метою дипломного проекту є підвищення точності та зручності налаштування струнних музичних інструментів за рахунок розроблення автоматичної системи.

Основними перевагами системи є:

- а) полегшення процесу настройки інструмента;
- б) досягнення близького до ідеального звучання інструменту;
- в) можливість налаштування різних струнних музичних інструментів.

					ІА61.220БАК.005 ПЗ	А
З	А	№ докум.	Підп	Д		10

## 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

### 1.1 Загальні відомості

Струнні музичні інструменти – це обширна група музичних інструментів, джерелом звуку яких є вібруюча струна, що натягнута між двома фіксованими точками.

#### 1.1.1 Класифікація струнних музичних інструментів

Існує дві системи класифікації струнних музичних інструментів. Перша – сучасна. В її основі лежить класифікація за технікою збудження коливань струни. За цією класифікацією можна виділити три основних групи струнних інструментів:

- а) смичкові (скрипка, альт, віолончель, контрабас та інші);
- б) щипкові (арфа, гітара, бандура, гуслі, укулеле та інші);
- в) ударні (цимбали).

Друга система класифікації – система Горнбостеля-Закса, що була розроблена двома музикознавцями в Німеччині 1914 року. За цією системою, інструменти слід ділити на групи залежно від джерела звуку. Всі існуючі музичні інструменти були поділені на чотири групи:

- а) ідіофони (самозвучні);
- б) мембранофони (перетинкові);
- в) хордофони (струнні);
- г) аерофони (духові).

Ключовою відмінністю від попередньої класифікації, є те, що до групи струнних інструментів, тобто хордофонів, також належить, наприклад,

фортепіано, клавикорд, клавесин тощо. Хоча в сучасній класифікації всі вони є частиною окремої групи клавішних музичних інструментів.

Тобто, хоч в наш час їх і не відносять до струнних інструментів, але фактично, джерелом їх звуку – струни. Принцип їх налаштування не сильно відрізняється від принципів налаштування класичних струнних інструментів, наприклад, від гітари. В усіх цих інструментах для налаштування потрібно змінювати натяг струн за допомогою підкрутки кілків. Отже фортепіано і клавикорд потрапляють в групу інструментів, налаштування яких є можливим при використанні системи, що проектується в даній дипломній роботі [1, 2].

### 1.1.2 Характеристики струнних музичних інструментів

Струна є джерелом звукових коливань струнних музичних інструментів. Вібрація всієї струни дає основний тон, а коливання її частин створює обертони, що загалом утворює гармонічний ряд. При цьому висота звуку забезпечується частотою, сила звуку — амплітудою, а тембр — формою коливань.

Існує декілька способів викликати вібрацію струни:

- а) натяг струни;
- б) щипок;
- в) удар по струні;
- г) відтягнення зацепом.

Збудження струни супроводжується зміщенням її ділянок по всій довжині у поперечному напрямку. Цей процес добре ілюструє рисунок 1.1.



Рисунок 1.1 – Коливання струн [3]

Будь яке коливання струни можна представити у вигляді суми її власних гармонічних коливань. Для струни на жорстких опорах коливання можна описати формулою

$$f_n = \frac{n}{2l} \sqrt{\frac{Q}{\rho S}},$$

де  $l$  – довжина струни,

$S$  – площа поперечного перерізу,

$Q$  – натяг струни,

$\rho$  – густина матеріалу струни,

$n$  – це ціле число, що відповідає номеру гармонічної складової.

Різноманіття струнних інструментів стало можливим завдяки впливу, що здійснюють на їх звучання різні фактори. Можна виділити такі з них:

- а) матеріал основи струн;
- б) матеріал обмотки струн;
- в) вид обмотки струн;
- г) довжина струн;
- д) діаметр струн;

- е) натяг струн;
- є) конструктивні особливості корпусу інструмента;
- ж) матеріал корпусу інструмента.

Матеріал основи струни є важливим фактором, що впливає на інструмент в цілому. Від нього залежать:

- а) необхідний для конкретної ноти діаметр струни;
- б) стабільність строю інструмента;
- в) відчуття струн на дотик;
- г) відклик струн на дію смичка чи руки виконавця.

Обмоткою струн називають однорідний тонкий дріт, що обмотується навколо основи струни з ціллю змінити її звукові характеристики та забезпечити довшу її працездатність.

Струни діляться на кілька типів залежно від виду обмотки струн та матеріалу її виготовлення.

Найпоширенішими матеріалами обмотки є мідь, срібло, латунь та фосфорна бронза. Матеріал впливає на звукові якості, жорсткість та довговічність струн.

Існує три основних види обмотки струн:

- а) кругла обмотка;
- б) плоска обмотка;
- в) напівкругла обмотка.

Вони відрізняються формою дроту, що обмотується навколо основи. Види обмоток проілюстровані на рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 – Види обмоток [5]

Тип обмотки впливає на тактильні відчуття користувача інструменту та, в певній мірі змінює характер коливань струни, що впливає на звук.

Довжина струн є індивідуальною характеристикою кожного існуючого виду інструментів. Вона визначається сформованими стандартами.

Основною характеристикою, що змінює довжина є частота звукових коливань. Тимчасова зміна зони струни, що коливається є основною технікою гри на більшості струнних інструментів. Для цього гравець притискає струну до корпусу, тим самим змінюючи її звучання.

Діаметр впливає на відчуття струни на дотик та відклик на смичок. Як правило, тонші струни більш чутливі, ніж струни з аналогічною обмоткою і з більшим діаметром[4].

Натяг струн впливає на частоту коливань струни. Всі струнні музичні інструменти мають конструктивну можливість ручного регулювання натягу струн. Для цього на одній з точок фіксації струн встановлюються кілки, що дають змогу власнику вільно змінювати натяг, та, внаслідок цього, висоту звуку [6].

Звук струни, що коливається, сам по собі дуже слабкий. Тому для його підсилення зазвичай використовується корпус інструменту. На таких інструментах як скрипка, коливання струни через місток передаються до корпусу інструменту. Коливання корпусу інструменту, в свою чергу призводять до збільшення поверхні, що коливається, приводячи в рух більші маси повітря. Більша амплітуда повітряних коливань що досягають наших органів слуху і сприймається нами як підсилення гучності.

В наш час для підсилення звуку стали активно застосовуватись електричні методи. Інструменти з такою реалізацією використовують п'єзоелектричні звукознімачі, що перетворюють акустичні коливання струни в електричні. Вони ж, у свою чергу підсилюються, і через динаміки знову перетворюються в акустичні.

## 1.2 Існуючі рішення

### 1.2.1 Snark SN-8

Тюнер Snark SN-8 є представником найбільш популярної групи тюнерів для струнних музичних інструментів. А саме, тюнерів для ручного налаштування інструменту.

Snark SN-8 має мікрофон, корпус з кріпленням та екран для виводу інформації. Тюнер зображений на рисунку 1.3.

					ІА61.220БАК.005 ПЗ	А
З	А	№ докум.	Підп	Д		16





Рисунок 1.3 – Тюнер Snark SN-8 [8]

Основною функцією такого тюнера є відображення частоти збудженої струни. Тобто, користувач збуджує струну, та сам підкручує кілок дивлячись на екран тюнера. Цей процес триває до співпадіння звучання струни з еталонним та повторюється для кожної струни.

Також важливою особливістю тюнера є те, що він кріпиться прищепкою до головки грифу, та при роботі уловлює вібрації самого інструменту. Внаслідок такої реалізації тюнер є малочутливим до зовнішніх шумів. [7]

Основними перевагами такого тюнеру є:

- а) низька вартість;
- б) малі розміри;
- в) зручне кріплення;
- г) малочутливий до шумів;

д) потенціальна можливість настройки будь якого струнного інструменту користуючись виведенням частоти на екран та таблицями еталонного звучання, знайдених користувачем;

е) наявність спеціалізованих тюнерів, що спрощують налаштування певних інструментів так як можуть порівнювати звучання з готовим списком еталонних частот.

Основними недоліками ж є:

- а) необхідність безпосередньої участі користувача в процесі налаштування;
- б) процес налаштування займає значну кількість часу.

### 1.2.2 Roadie tuner

Автоматичний гітарний тюнер Roadie стартував як стартап на Kickstarter.com. На старті було зібрано 178,613 \$ після чого проект пішов у розробку. Тюнер зображений на рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 – Roadie Tuner [10]

Тюнер представляє з себе мотор з керуючою мікросхемою в пластмасовому корпусі. Всередині знаходяться 3,7-вольтна літій-полімерна акумуляторна батарея та Bluetooth модуль, що підключається до смартфона користувача. Тюнер поставляється з USB-кабелем для зарядки, коротким

керівництвом і кабелем, що дозволяє підключати електричну гітару безпосередньо до смартфона для безшумної настройки без необхідності в підсилювачі. Будова тюнера зображена на рисунку 1.5.

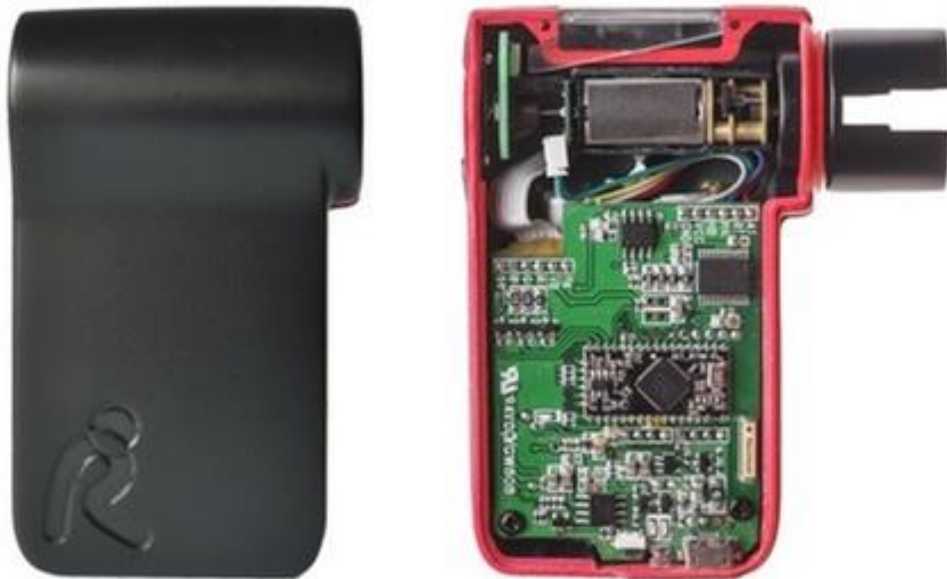


Рисунок 1.5 – Будова Roadie Tuner [11]

Пристрій можна використовувати для настройки електричних і акустичних гітар, банджо, мандоліни і гавайських гітар. Також він підтримує альтернативні і нестандартні налаштування.

Для роботи тюнеру необхідний зв'язок з програмним забезпеченням, встановленим на телефоні користувача. Він використовує мікрофон смартфона для прийому звуку струни, та свій програмний застосунок для його аналізу [9].

Основними перевагами тюнеру є:

- а) невисока ціна;
- б) можливість настройки різних інструментів;
- в) можливість створювати та зберігати профілі налаштування;
- г) невеликий розмір.

Можна виділити такі основні недоліки:

- а) неможливість роботи без смартфона з програмним застосунком;

б) недостатньо потужний мотор для роботи з туго натягнутими струнами.

### 1.2.3 Smart Tuner T2

Smart Tuner T2 – автоматичний гітарний тюнер, розроблений корейською компанією Jowoom. Тюнер зображено на рисунку 1.6.



Рисунок 1.6 – Smart Tuner T2 [13]

Тюнер представляє з себе автономну систему з мікрофона, акумулятора, електродвигуна постійного струму з насадкою для кілків, екрана та панелі управління з механічними кнопками в пластмасовому корпусі.

Виробником заявлена можливість настройки укулеле, електричних, акустичних та класичних гітар.

Тюнер має літій-іонний акумулятор ємністю 2600 мА, що дає користувачу дві години активної роботи пристрою. Для зарядки акумулятора, тюнер має інтерфейс micro-USB.

					IA61.220БАК.005 ПЗ	A
З	А	№ докум.	Підп	Д		20

В тюнері є можливість вибору конкретних нот для вибіркової настройки. Також є можливість настройки інструмента з користувацьким набором частот, що вказуються за допомогою елементів управління на панелі.

Також пристрій має три основних режими настройки інструменту:

а) автоматична (тюнер використовує набір еталонних частот для обраного інструменту без необхідності вказувати конкретну струну при налаштуванні);

б) напів-автоматична (користувач обирає необхідну ноту, чи вказує частоту перед настройкою кожної струни);

в) ручна (пряме управління мотором з виведенням поточної ноти на екран) [12].

Приклад роботи тюнера в напів-автоматичному режимі зображений на рисунку 1.7.



Рисунок 1.7 – Напів-автоматичний режим роботи тюнера [14]

					ІА61.220БАК.005 ПЗ	А 21
З	А	№ докум.	Підп	Д		

Основними перевагами тюнеру є:

- а) акумулятор великої ємності;
- б) можливість вільного вибору частот для настройки;
- в) тюнер є автономною системою.

Можна виділити такі основні недоліки:

- а) невелика кількість інструментів з якими працює тюнер;
- б) висока ціна.

#### 1.2.4 Tronical Tune

Tronical Tune – автоматичний тюнер для акустичних та електричних гітар від Німецької компанії Tronical.

Tronical Tune зображено на рисунку 1.8.



Рисунок 1.8 – Tronical Tune [16]

Тюнер кріпиться на головку грифа гітари та укомплектований своїми кілками, що по суті замінюють оригінальні кілки гітари.

Система Tronical Tune складається з трьох основних компонентів:

- а) набір моторизованих кілків під назвою RoboHeads (рисунок 1.9);
- б) прямокутний корпус з користувацьким інтерфейсом, що містить всередині батарею та керуючу мікросхему;
- в) чорна накладка, що кріпиться безпосередньо до головки грифа та з'єднує його з корпусом тюнера.



Рисунок 1.9 – Моторизований кілок RoboHead [17]

Tronical Tune пропонує два основних режими настройки: всі струни одночасно або окремо кожну. Під час налаштування світлодіодні ноти на задній панелі корпусу змінюють колір, щоб відображати актуальний процес настройки [15].

Переваги:

- а) швидка настройка інструменту за рахунок роботи з усіма струнами одночасно;

- б) автономність;
- в) наявні різні варіанти будови корпусу для гітар з різними формами грифів.

Недоліки:

- а) висока ціна;
- б) неможливість настройки декількох окремих інструментів;
- в) неможливість роботи з іншими струнними інструментами крім гітар.

### 3.3 Висновки до розділу

У результаті аналізу існуючих рішень було виявлено, що на даний момент вони можуть надати користувачу такі можливості:

- а) можливість управління тюнером через програмний застосунок на смартфоні;
- б) можливість налаштування електричних і акустичних гітар, банджо, мандолін і гавайських гітар;
- в) можливість автономної роботи, що дозволяє користуватися тюнером без живлення від мережі.

Також можна виділити основний недолік знайдених аналогів, а саме обмежений вибір струнних музичних інструментів для налаштування.

					ІА61.220БАК.005 ПЗ	А
З	А	№ докум.	Підп	Д		24



## 2 РЕАЛІЗАЦІЯ ВЛАСНОГО РІШЕННЯ

Запропоноване у дипломному проекті рішення комбінує підхід автономності від смартфона, можливості автоматичного налаштування всіх струн без безпосередньої участі користувача в процесі, та можливість масштабування системи, що дає фактичну свободу налаштування будь-якого струнного музичного інструменту.

Система складається з контролера, модуля прокрутки кілків та модуля автоматичного збудження струн.

Контролер буде містити в собі універсальну логіку роботи автоматичного тюнера, та керувати іншими модулями системи.

Модуль прокрутки кілків складається з секції моторів та насадок для кілків. Можлива розробка та зміна насадок для налаштування різних інструментів.

Модуль автоматичного збудження струн складається з секції моторів та спеціальних рухомих елементів для збудження струн.

Також в системі передбачена наявність мікрофону для безпосереднього отримання звуку, та подальшої передачі його до контролера.

Система працює від мережі або використовуючи блок живлення, або акумулятор. Зв'язок між модулями забезпечується кабелями. Також, для зв'язку, в системі можлива реалізація технології Bluetooth.

### 2.1 Алгоритм роботи автоматичного тюнера

Блок-схема, що показує структуру алгоритму роботи автоматичного тюнера, представлена на кресленнику ІА61.220БАК.005 Д1.

Робота системи починається з направленого збудження першої струни музичного інструменту. Це викликає звукові коливання, які, в свою чергу

					ІА61.220БАК.005 ПЗ	А
З	А	№ докум.	Підп	Д		25

уловлює чутливий мікрофон. Він передає отримані дані у вигляді аналогового сигналу до контролера, що показує 4 блок представленої схеми.

Далі сигнал проходить через вбудований аналогово-цифровий перетворювач контролера. Це необхідно для подальшої обробки та аналізу сигналу математичними методами.

Наступним етапом роботи системи є визначення частоти звучання струни. Для цього зазвичай використовується алгоритм дискретного перетворення Фур'є (ДПФ). Цей алгоритм є математичною процедурою, що застосовується для визначення частотного або гармонічного складу дискретних сигналів. Алгоритм працює тільки з дискретним сигналом, чим і зумовлене використання аналого-цифрового перетворювача.

В системі буде використовуватись алгоритм швидкого перетворення Фур'є (ШПФ). Він є варіацією алгоритму ДПФ. Таке рішення прийнято зважаючи на те, що він дозволяє отримувати бажаний результат, виконуючи менше обчислень, що зменшить навантаження на контролер та прискорить загальний процес настройки музичних інструментів.

Після роботи алгоритму ШПФ ми отримуємо показник поточної частоти струни музичного інструменту.

Наступним етапом є порівняння отриманої частоти струни з її еталонною частотою. Цей етап передбачає те, що дані про еталонне звучання струн обраного музичного інструменту вже є в системі чи були отримані безпосередньо від користувача перед запуском системи.

При не співпадінні частоти струни з еталонною система визначає як відрізняється від неї поточна частота. А саме, визначає різницю частот враховуючи її знак.

На основі отриманих даних система робить висновок про необхідну зміну поточної частоти струни інструменту.

					ІА61.220БАК.005 ПЗ	А
З	А	№ докум.	Підп	Д		26

Наступний етап роботи системи – це зміна натягу струни за допомогою під'єднаних до контролера двигунів.

Використовуючи дані, отримані на попередньому етапі, контролер керує двигунами на кілках. Проводиться крутіння кілка в визначену сторону та на визначену дистанцію. Контролер вираховує дистанцію використовуючи дані про кутову швидкість мотору.

Після регулювання натягу струни, алгоритм повторює попередні кроки відносно цієї ж струни. Це робиться для того щоб провести перевірку точності налаштування на випадок непередбачуваних завад.

Отримавши поточну частоту струни контролер знову порівнює її з еталонною та робить відповідний висновок. Якщо немає співпадіння, то проводиться повторне регулювання, та ще один повтор циклу поки не буде досягнуто значення, що є еталонним..

У випадку, коли частота струни дорівнює еталонній, контролер робить висновок що струна налаштована, та починає регулювання наступної по порядку струни.

Цей алгоритм повторюється N раз. Параметр N дорівнює кількості струн музичного інструменту, що налаштовується. Після цього алгоритм завершує свою роботу.

Отже, маючи до початку роботи алгоритму не налаштований інструмент, після його закінчення, результатом його роботи стане інструмент з струнами, що звучать на еталонних для цього інструменту частотах. Тобто, ідеально налаштований і готовий до гри музичний інструмент.

Алгоритм є універсальним для будь якого акустичного струнного музичного інструменту. А це не тільки гітаро-подібні інструменти, а ще й такі як фортепіано чи арфа.

## 2.2 Алгоритм швидкого перетворення Фур'є

Блок-схема, що показує структуру алгоритму швидкого перетворення Фур'є, представлена на кресленику ІА61.220БАК.005 Д2.

Швидке перетворення Фур'є – це оптимізація алгоритму дискретного перетворення Фур'є, яке в свою чергу – реалізація класичного безперервного варіанту. Оптимізація полягає в тому, щоб не робити деякі не обов'язкові обчислення.

Алгоритм ШПФ був створений тому, що обчислення безпосередньо, часто виявляється занадто витратним за часом. У той час як дискретне перетворення вимагає  $O(N^2)$  операцій, алгоритм швидкого перетворення Фур'є справляється із завданням за  $O(N \log N)$  операцій. При розмірах векторів порядку декількох мільйонів ця різниця може зменшити час обчислення на кілька порядків.

Оскільки алгоритм працює тільки з цифровим сигналом, а мікрофон є джерелом аналогового, то для початку роботи ШПФ, сигнал проходить через аналогово-цифрове перетворення через внутрішній АЦП контролера.

У частотній та часовій області сигнал представлений  $N$  комплексними точками. Кожна з цих точок складається з двох чисел: дійсної та уявної частини. Тобто, коли говорять про комплексний відлік  $X$ , мова йде про комбінацію його уявної та дійсної частин. При множенні двох комплексних змінних, необхідно об'єднати чотири окремі компоненти в два.

ШПФ працює з розкладанням  $N$ -точкового часового проміжку сигналу на  $N$  часових сигнальних проміжків, кожен з яких складається з однієї точки. Другий крок полягає в розрахунку  $N$  частотних спектрів, відповідних цим часовим сигнальним проміжкам. Після цього, на основі  $N$  спектрів синтезується єдиний частотний спектр.

Рисунок 2.1 показує приклад поділу часової області з використанням ШПФ. На рисунку бачимо, що 16-ти точковий сигнал розкладається на чотири окремі компоненти. Перший етап полягає в розбитті 16-ти точкового сигналу на два сигнали по 8 точок. На другому етапі відбувається розкладання цих сигналів на чотири сигнали по 4 точки. Дана процедура триває до тих пір, поки не буде сформовано  $N$  сигналів, що складаються з однієї точки.

Черезрядкове розкладання використовується при поділі вибірки сигналів на дві вибірки. Сигнали розділяється як при парній, так і при непарній кількості відліків в вибірці. В системі проводиться  $2^N$  етапів розкладання, тобто 16-ти точковий сигнал ( $2^4$ ) передбачає 4 етапи, 512-точковий ( $2^7$ ) вимагає 7 етапів, 4096-точковий ( $2^{12}$ ) передбачає 12 етапів і т.д.

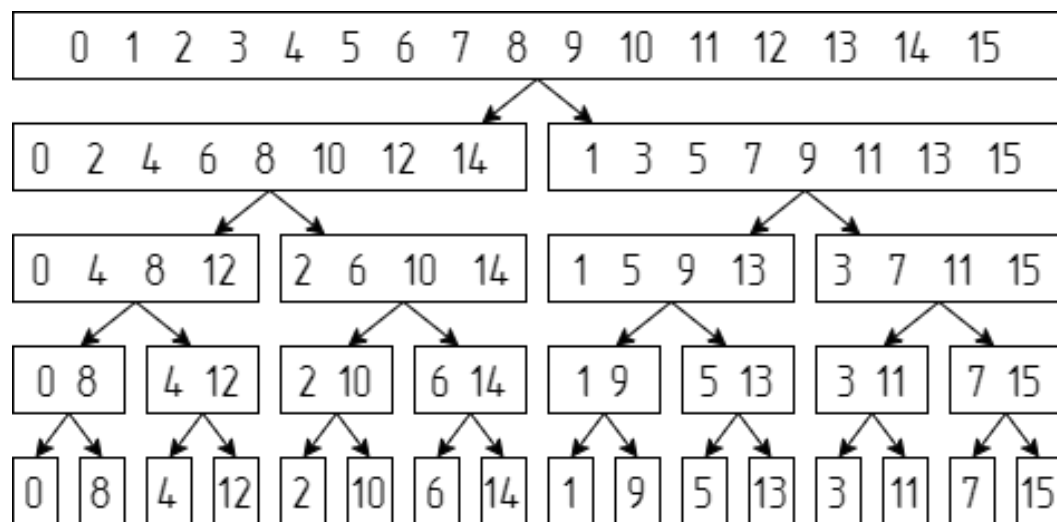


Рисунок 2.1 – Процедура розкладання сигналу [19]

Цей механічний процес можна значно спростити. Розкладання є не більше ніж перерозподілом відліків сигналу. Це ілюструє рисунок 2.2. Зліва представлені номери відліків початкового сигналу, разом з їх двійковими еквівалентами. Справа, перетворені номери, а також їх двійкові еквіваленти. Ідея полягає в тому, що двійкові числа є інвертованими по відношенню один до одного. Наприклад, відлік №3 (0011) можна отримати з відліку №12 (1100). Відлік № 14 (1110) виходить з відліку № 7 (0111), і так

далі. Розбиття часової області в ШПФ, зазвичай, проводиться з використанням алгоритму сортування інвертованих бітів. Це передбачає зміну N часових областей, з підрахунком у двійковому вигляді та інвертуванням бітів (це можна побачити у правій колонці на рисунку 2.2).

Числа в нормальному порядку		Числа після інвертування бітів	
Десяткова система	Двійкова система	Десяткова система	Двійкова система
0	0000	0	0000
1	0001	8	1000
2	0010	4	0100
3	0011	12	1100
4	0100	2	0010
5	0101	10	1010
6	0110	6	0100
7	0111	14	1110
8	1000	1	0001
9	1001	9	1001
10	1010	5	0101
11	1011	13	1101
12	1100	3	0011
13	1101	11	1011
14	1110	7	0111
15	1111	15	1111

Рисунок 2.2 – Процедура перерозподілу відліків сигналу [20]

Наступним кроком алгоритму ШПФ є знаходження частот спектрів одноточкових сигналів, визначених в часовій області. В нашому випадку, оскільки це спектр одноточкового сигналу, то він дорівнює самому собі. Це означає, що на цьому етапі не проводяться додаткові обчислення. Після цього, кожен з одноточкових сигналів тепер є спектром частот, а не точковим сигналом в часовій області

Останній крок у ШПФ полягає в тому, щоб об'єднати  $N$  спектрів частот в зворотному, по відношенню до часового поділу, порядку. У цьому випадку алгоритм, що був використаний до цього, не функціонує належним чином. Тобто, зворотне бітове сортування, не застосовується, а потрібно обчислювати складання сигналів, що є зворотнім до процесу, ілюстрованого на рисунку 2.1. На першому етапі, 16 одноточкових частотних спектрів об'єднуються в 8 частотних спектрів по 2 точки кожен. На другому етапі 8 частотних спектрів об'єднуються в 4 спектра, і так далі. На останньому етапі отримуємо результат алгоритму ШПФ у вигляді 16 точкового частотного спектра.

Рисунок 2.3 показує, як два частотних спектра, кожен з яких складався з 4 точок, об'єднані в єдиний частотний діапазон з 8 точок. Об'єднання має виключити однакові розкладання в часовій області. Іншими словами, операція в частотній області повинна відповідати операції в часовій області з виключенням співпадінь.

Розглянемо два сигнали часової області. 8 точковий часовий сигнал формується в два етапи: розділення кожного 4-точкового сигналу нулями, для того, щоб отримати 8-ми точковий сигнал, а потім об'єднати сигнали разом. Тому сигнал 1 перетворюється в  $a0b0c0d0$ , а 2 в  $0e0f0g0h$ . Підсумовування цих двох сигналів дає 8-точковий сигнал  $aebfcgdh$ . Як показано на рисунку 2.3, доповнення часової реалізації сигналу нулями, відповідає дублюванню частотного спектра. Таким чином, спектри частот в ШПФ, дублюються, а потім додаються один до одного.

					ІА61.220БАК.005 ПЗ	А
З	А	№ докум.	Підп	Д		
						31

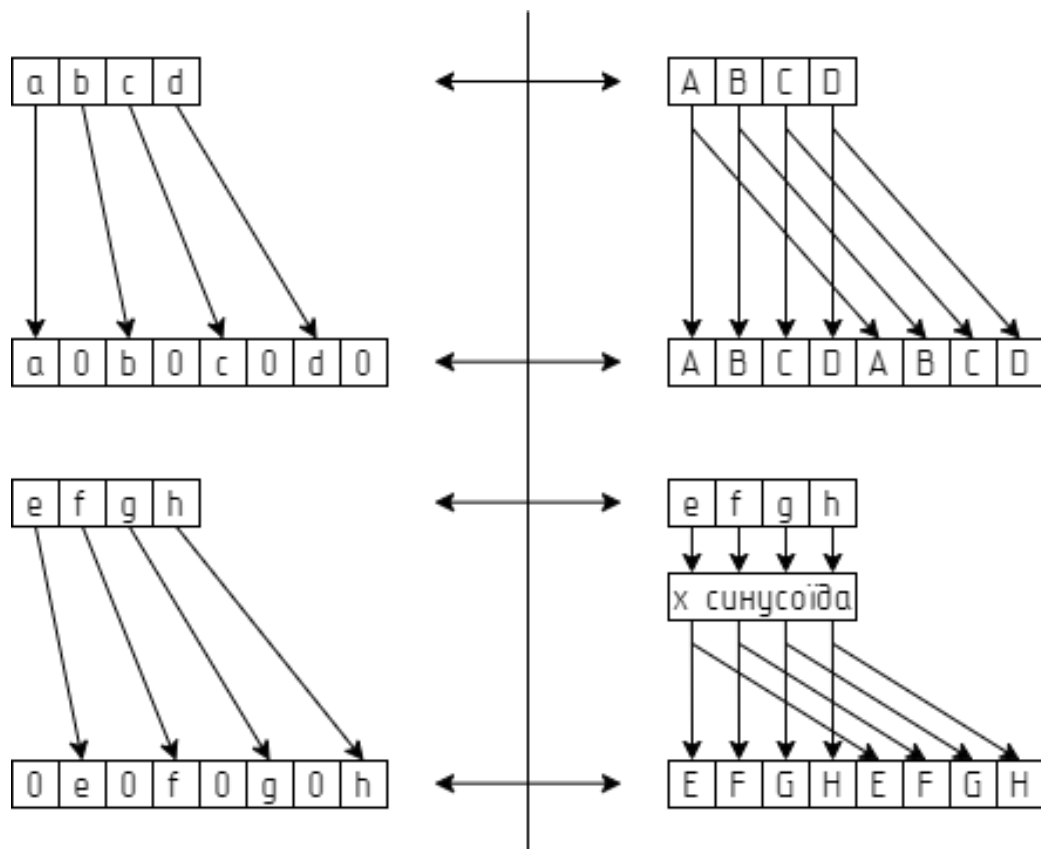


Рисунок 2.3 – Процедура синтезу частотного спектру сигнала [21]

Для досягнення відповідності, два сигнали у часовій області розбавляються нулями в трохи іншому вигляді. В першому сигналі, непарні відліки дорівнюють нулю, а в другому сигналі парні відліки дорівнюють нулю. Іншими словами, один із сигналів часової області (0e0f0g0h на рисунку 2.3) зсувається вправо на один відлік. Цей зсув в часовій області відповідає множенню на спектр синуса. Це можна пояснити тим, що зрушення у часовій області еквівалентні згортанню сигналу зі зміщеною дельта-функцією. Спектр зміщеної дельта функції є синусоїдою.

Рисунок 2.4 показує схему суміщення двох 4-х точкових спектрів в один 8-ми точковий.



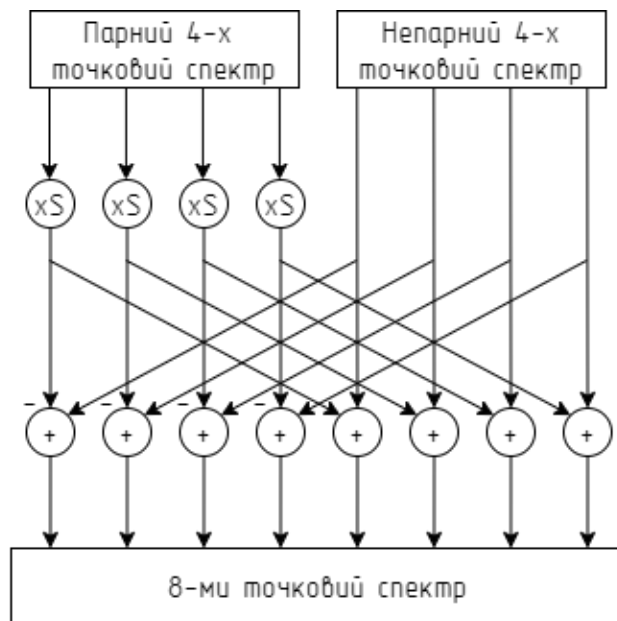


Рисунок 2.4 – схема суміщення двох 4-х точкових спектрів в один 8-ми точковий [22]

Рисунок 2.4 формується за базовою схемою, що повторюється знову і знову. Базова схема продемонстрована на рисунку 2.5.

Ця схема називається «метелик» в силу свого крилатого виду. «Метелик» є основним обчислювальним елементом ШПФ, функцією якого є перетворення двох комплексних точок в дві інші [18].

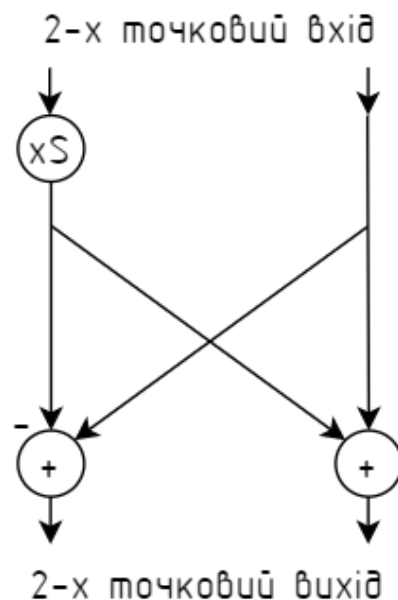


Рисунок 2.5 – Схема «метелика» [23]

## 2.3 Реалізація алгоритму в середовищі MATLAB

Алгоритм ШПФ з можливістю демонстрації його практичного використання для регулювання будь-якого струнного музичного інструменту був реалізований в середовищі MATLAB. Лістинг програми наведено в додатку А.

Використовуючи алгоритм швидкого перетворення Фур'є можна побудувати амплітудно-частотну характеристику сигналу, що продемонстровано на рисунку 2.6, де відображено процес порівняння звучання струни, що повинна мати визначену еталоном частоту (нота сі). Як видно на рисунку 2.6, має місце співпадіння частоти струни з еталоном. Тобто на цьому етапі алгоритм закінчує налаштування цієї струни та переходить до наступної.

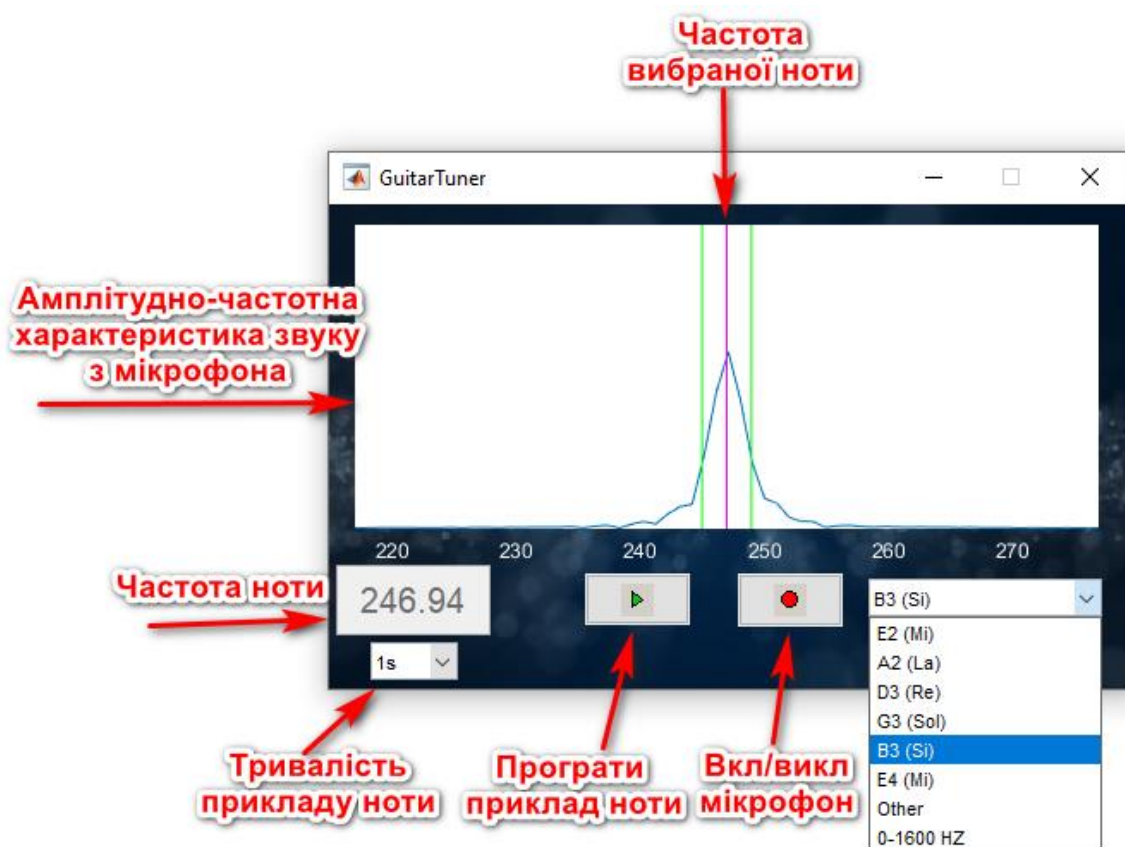


Рисунок 2.6 – Інтерфейс реалізації в MATLAB

Інтерфейс програми показаний на рисунку 2.6.

Елементи інтерфейсу програми:

а) Екран, на якому відображається амплітудно-частотна характеристика звуку, що передає мікрофон. В центрі є фіолетова вертикальна лінія, що є центром екрану та показує положення еталонної частоти звучання для обраної ноти. Дві зелені лінії зліва та справа відображають допустиме відхилення поточної частоти від еталонної. В готовій системі показник відхилення може обиратись залежно від інструменту. Основною ціллю реалізації допустимого відхилення є технічна неможливість отримати точне співпадіння частот. Отже, для побудови системи необхідне округлення частот, реалізацією чого і є допустиме відхилення.

б) Випадаючий список для обирання еталонної ноти. Ноти, представлені тут, є стандартними для класичної шестиструнної гітари. Це реалізація попередньо заданого еталонного списку частот. Також є можливість самому вказати частоту потрібної ноти обравши пункт «Other» чи пункт «0-1600 Hz». Останній відрізняється від «Other» тим, що екран відобразить амплітудно-частотну характеристику на проміжку частоти 0-1600 герц;

в) Кнопка для вмикання та вимикання мікрофона;

г) Кнопка для програвання вибраної ноти як прикладу еталонного звучання;

д) Випадаючий список, що дає можливість вибору тривалості програвання еталонного прикладу звучання ноти;

е) Поле, що відображає частоту вибраної еталонної ноти. Сюди ж користувач має можливість ввести будь-яку частоту при виборі у випадаючому списку обирання ноти пунктів «Other» чи «0-1600 Hz».

Показана програма відображає функції контролера, що керує загальною системою автоматичного налаштування струнних інструментів. Алгоритм зіставляє бажану частоту з реальною та змінює натяг струн шляхом

підкручування кілків інструменту до співпадіння частот. Цей процес, при реалізації системи, може відбуватися без втручання користувача.

Єдине, що потребується від користувача тюнера, це встановити рухомі насадки для обраного інструменту на крокові двигуни, правильно встановити крокові двигуни та серводвигуни на відповідні частини інструменту, і запустити пристрій. Це значно економить час, що людина витратила би на настройку інструмента вручну, що в середньому займає від десяти до п'ятнадцяти хвилин, використовуючи звичайні тюнери.

Варто зауважити, що у відношенні до економії часу, найбільш ефективною система буде для інструментів з великою кількістю струн, оскільки користувач витрачає свій час тільки на монтаж системи.

Також, ми виключаємо з процесу настройки людський фактор, що може стати причиною неточного регулювання, та отримуємо більш приближений до еталонного результат.

					ІА61.220БАК.005 ПЗ	А
З	А	№ докум.	Підп	Д		36

### 3 ОПИС СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

Структурна схема системи представлена на кресленику ІА61.190БАК.005 Э1.

Контролер – це спеціалізований мікроелектронний програмований прилад, що призначений для використання у керуючих пристроях, системах передачі даних та системах керування технологічними процесами.

В нашій системі контролер буде виконувати дві основних функції:

а) Обробка інформації (контролер буде отримувати звук з мікрофона, обчислювати його частоту та порівнювати з еталонною);

б) Керування (контролер керує серводвигунами для здобуття звуку конкретних струн, а також відповідно до результатів обробки інформації керує кроковими двигунами, що закріплені на кілках для регулювання натягу струн).

Блок модулю збудження струн відповідає за ініціювання коливання обраних струн для подальшого аналізу їх звучання. Також важливим є можливість забезпечення доступу до кожної струни без втручання користувача в процесі роботи системи.

Цей блок системи представляє з себе групу серводвигунів, по одному на кожен струну, що повинні збуджувати їх за допомогою змінних рухомих елементів.

Також в цьому блоці передбачена група рухомих деталей, прикріплених до роторів сервомоторів, та призначених для безпосереднього механічного контакту зі струнами для їх збудження.

Драйвер серводвигунів представляє собою окремо приєднаний до контролера модуль, основними функціями якого є:

а) управління великою кількістю сервомоторів, що актуально, оскільки використано по одному двигуну на струну;

					ІА61.220БАК.005 ПЗ	А
З	А	№ докум.	Підп	Д		37

б) можливість під'єднання окремої від контролера лінії електропостачання, що важливо, оскільки контролер не здатний забезпечити живленням велику кількість двигунів.

Модуль регулювання натягу струн призначений для зміни натягу струн шляхом підкручування кілків інструменту. Це відбувається до моменту досягнення еталонного, чи приближеного до нього значення частоти вібрації струни.

Цей блок системи представляє з себе групу крокових двигунів, по одному на кожний кілок інструменту, що повинні закріплюватись на них за допомогою насадок на кілки. Двигуни призначені для прокрутки кілків за або проти часової стрілки на визначену дистанцію для зміну натягу струн інструменту.

Також цей блок передбачає групу змінних деталей, що прикріплені до роторів крокових двигунів, та призначений для передачі обертаючого моменту з двигунів, на кілки. Тобто забезпечують достатнє зчеплення для ефективної роботи двигунів. Різні інструменти мають різну будову та форму кілків, отже є необхідність у підборі універсального рішення та забезпечення можливості змінювати деталі при необхідності.

Драйвер крокових двигунів представляє собою окремо приєднаний до контролера модуль, основними функціями якого є:

а) управління великою кількістю крокових двигунів, що актуально, оскільки використано по одному двигуну на кілок;

б) можливість під'єднання для окремої лінії електропостачання для крокових двигунів. Це актуально, оскільки крокові двигуни в момент роботи є доволі енерговитратними, а контролер системи не здатний задовольнити такі вимоги.

Батарейний відсік – блок системи, який виконує функцію забезпечення електроенергією потребуючих цього компонентів системи. В ньому розміщуються змінні акумулятори, чи батарейки.

Також в блоці передбачена наявність системи управління акумуляторами (BMS). Блок виконує функцію захисту акумуляторів від перезаряду, перерозряду та короткого замикання.

Акумулятори потрібні для накопичення та зберігання електричної енергії. Це дає можливість роботи системи без підключення до мережі живлення.

Мікрофон – прилад, що перетворює звукові коливання на коливання сили електричного струму. В системі він призначений для передачі звучання струн до контролера в вигляді аналогового сигналу, для його наступного перетворення в цифровий сигнал та подальшого аналізу.

					ІА61.220БАК.005 ПЗ	А
З	А	№ докум.	Підп	Д		39

#### 4 ОПИС ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ

Функціональна схема описуємої системи продемонстрована на кресленику ІА61.330БАК.005 Э2.

На функціональній схемі представлена система, основним керуючим пристроєм якої є контролер. Його основними функціями є:

- а) прийняття та обробка аналогового сигналу, отриманого з мікрофону;
- б) керування кроковими двигунами системи;
- в) керування серводвигунами системи.

Контролер має інтерфейси для підключення пристроїв. В системі використовуються такі з них:

а) I2C для керування двигунами системи. Інтерфейс використовує як і драйвер крокових двигунів, так і драйвер серводвигунів;

б) Analog input, для прийому аналогового сигналу, отриманого з мікрофона;

в) 5V Power in, що використовується системою управління акумуляторами для забезпечення контролера живленням, необхідним для його роботи;

г) GND, що є, фактично, виводом заземлення. Використовується системою управління акумуляторами.

Оскільки контролер не здатний забезпечити керування значною кількістю різних двигунів, що використовуються в системі, стало необхідним використання драйверів. Основна функція драйверів полягає в тому, щоб розширити можливості контролера одночасно керувати різними пристроями та надати змогу підключення їх більшої кількості.

Також, необхідною для роботи системи функцією драйверів, є можливість забезпечити мотори окремим живленням, не використовуючи

					ІА61.220БАК.005 ПЗ	А
З	А	№ докум.	Підп	Д		40



живлення контролера, так як його буде недостатньо для задоволення вимог системи.

Основна функція системи управління акумуляторами полягає в тому, щоб забезпечити живлення всіх потребуючих елементів системи використовуючи одне джерело живлення. Для забезпечення автономності системи від мережі живлення, таким джерелом в системі є акумулятор.

Мікрофон є єдиним сенсором, що використовується в системі. Його основна функція, це збір необхідних для роботи контролера даних. Мікрофон сприймає звукові коливання та передає їх на контролер у виді аналогового сигналу.

У блоці «Модуль збудження струн» зображені компоненти системи, що мають функцію збудження джерела звукових коливань. В нашому випадку це збудження конкретних струн музичного інструменту. Функцію безпосереднього механічного впливу виконують серводвигуни.

У блоці «Модуль регулювання натягу струн» зображені компоненти системи, основною функцією яких є регулювання натягу струн музичного інструменту шляхом крутіння відповідних кожній струні кілків. Це здійснюється за допомогою передачі на кілки рухомого моменту від шагових двигунів, що є основною їх функцією.

					ІА61.220БАК.005 ПЗ	А
З	А	№ докум.	Підп	Д		41

## 5 ПІДБІР КОМПОНЕНТІВ

### 5.1 Контролер

При виборі контролеру, потрібно враховувати такі фактори як, необхідна кількість портів, представлені інтерфейси, ціна та обчислювальна потужність.

Оглянувши існуючі сьогодні варіанти, я зробив висновок, що найкращим вибором буде контролер Arduino Uno R3 від компанії Arduino Software (рисунок 5.1).



Рисунок 5.1 – Arduino Uno R3 [26]

Обраний контролер задовольняє такі потреби:

- а) достатня обчислювальна здатність;
- б) наявність аналогового інтерфейсу для можливості підключення мікрофону;
- в) компактні розміри (68 x 53 x 15 мм);
- г) невисока ціна (23.90 \$) [24].

Контролер має всі типи інтерфейсів, що потрібні для реалізації системи.

А саме:

- а) інтерфейс прийому аналогового сигналу, для можливості сприймати дані з мікрофону;
- б) цифрові виводи, для забезпечення можливості точного керування двигунами [25].

Наявні інтерфейси контролера показані на рисунку 5.2.

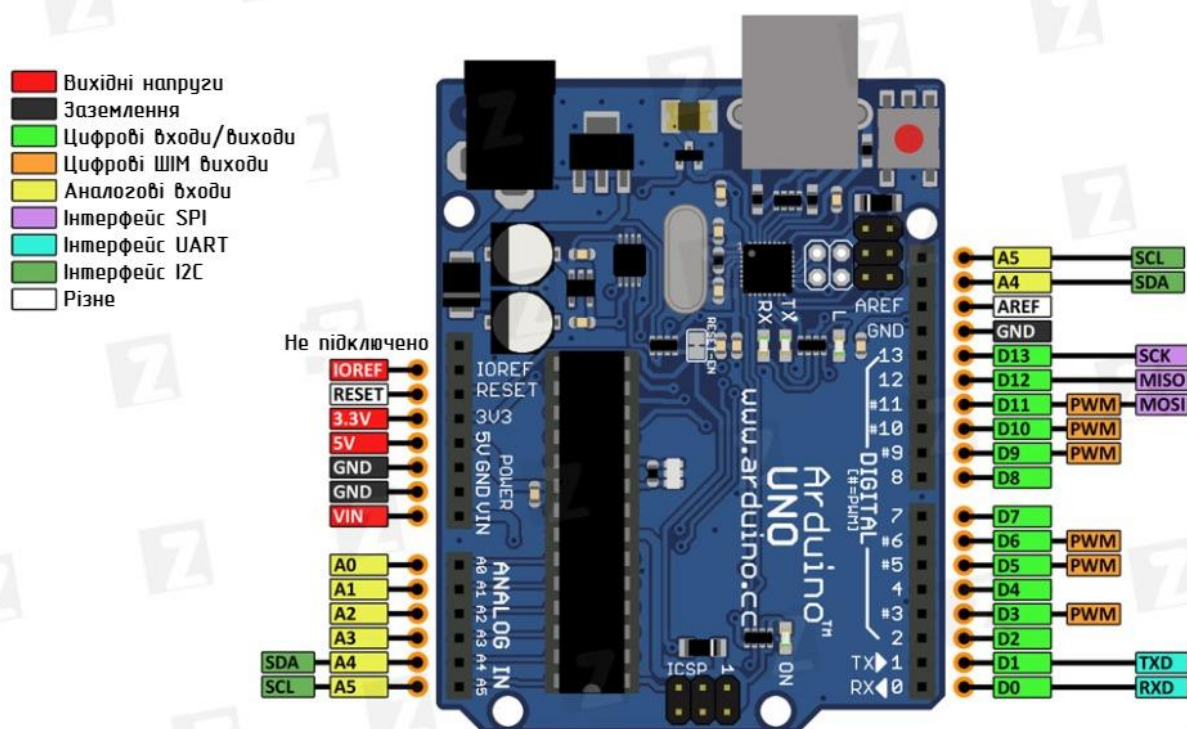


Рисунок 5.2 – Інтерфейси контролера Arduino Uno R3 [27]

## 5.2 Серводвигун

Для моделі було обрано серводвигун Tower Pro Sub-micro Servo - SG51R, що зображено на рисунку 5.3.



Рисунок 5.3 – Tower Pro Sub-micro Servo - SG51R [29]

Його основними перевагами над аналогами стали його ціна, невеликий розмір та незначна потреба в електроживленні. Оскільки використовується немала кількість сервомоторів ці критерії особливо важливі. Кількість сервомоторів буде залежати від типу інструменту який потрібно налаштувати. А саме, на це впливає кількість струн інструменту, що налаштовується [28].

### 5.3 Драйвер серводвигунів

Оскільки використана немала кількість серводвигунів, обраний контролер не може забезпечити їх необхідним живленням для роботи. Тому необхідно використовувати драйвер серводвигунів.

Для моделі було обрано драйвер для серводвигунів PCA9685. Це 16 канальний 12-розрядний драйвер. Він зображений на рисунку 5.4.

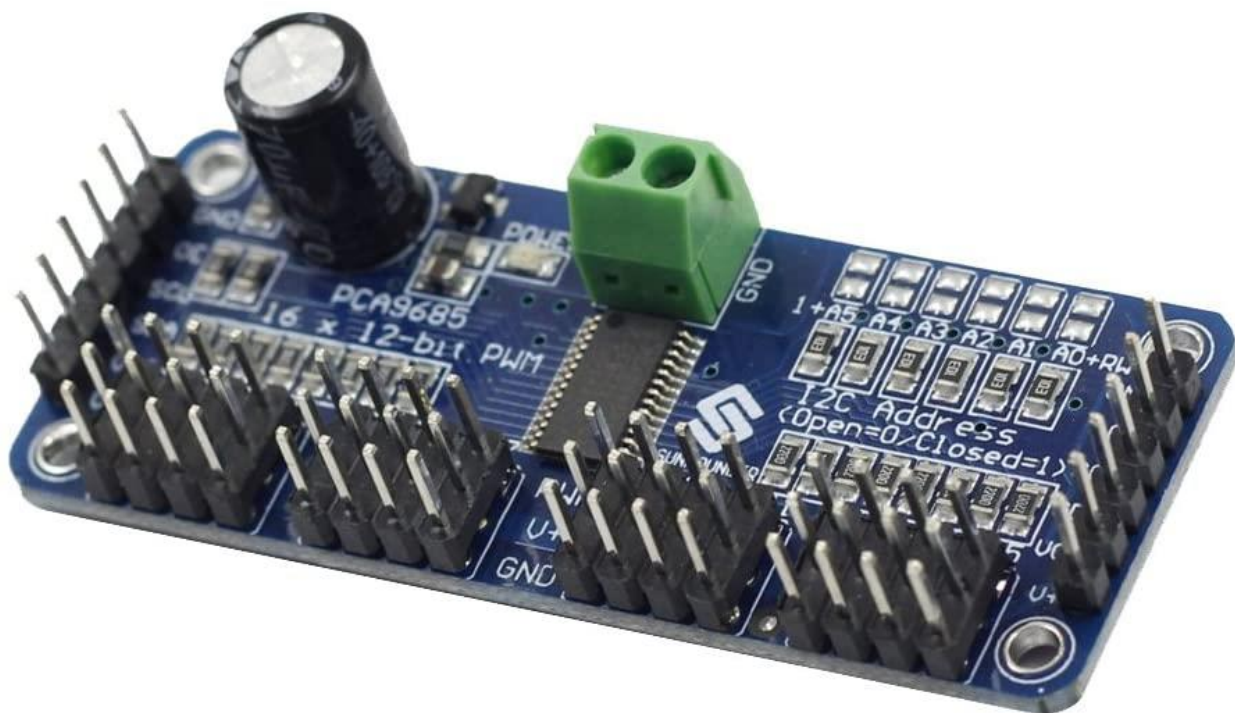


Рисунок 5.4 – Серводвигун PCA9685 [32]

16 каналів означає, що до драйверу можливе під'єднання до 16 сервомоторів, що, більш ніж задовольняє потреби системи. Так, наприклад, найбільшу кількість струн серед гітар має гітара Уорра, що має до 15 струн. Так що вибраний драйвер дозволяє при бажанні охопити дуже великий обсяг струнних музичних інструментів для подальшої настройки, при необхідній кількості рухомих елементів моделі, а саме крокових двигунів та серводвигунів [30].

Драйвер використовує інтерфейс I2C для під'єднання до контролера. Це дає контролеру можливість точно і одночасно керувати будь-яким підключеним двигуном [31]. Схему підключення драйверу до контролера та під'єднання максимальної кількості серводвигунів можна побачити на рисунку 5.5.



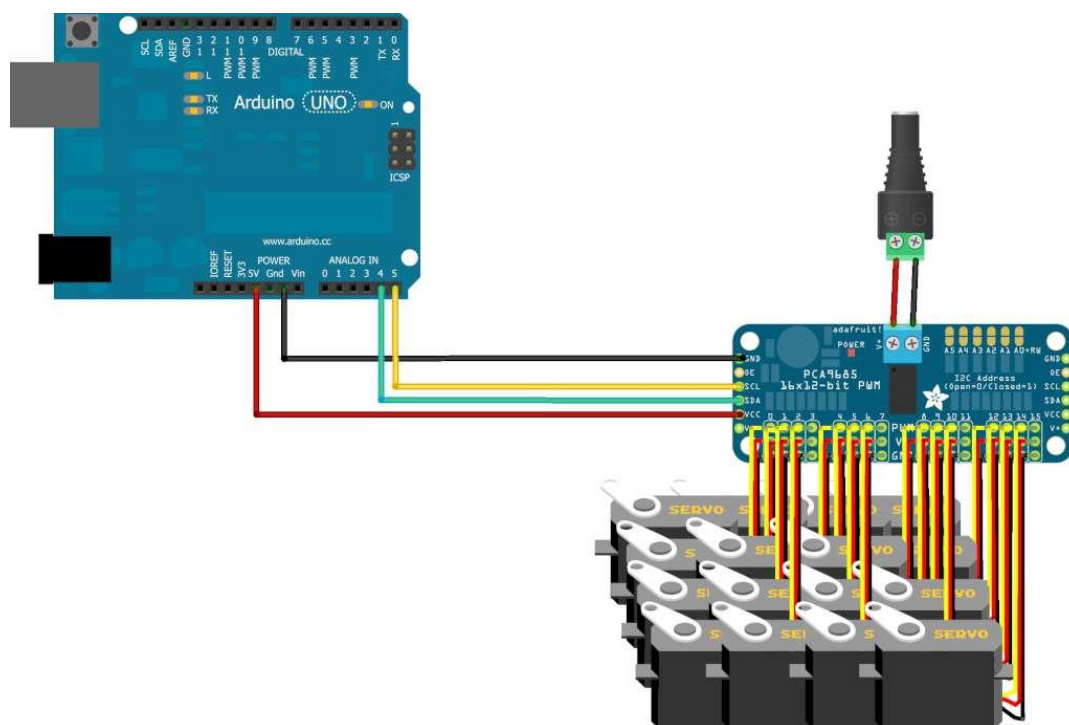


Рисунок 5.5 – Схема підключення драйвера PCA9685 [33]

#### 5.4 Рухомі елементи

Для рухомих елементів передбачена задача безпосереднього контакту з конкретними струнами з ціллю збудження їх коливань. Для цього рухомі елементи повинні:

- бути достатньо маленькими щоб мати змогу викликати звук окремих струн, що обирає алгоритм системи, при цьому не збуджуючи сусідні до них струни;
- мати можливість приєднання до серводвигунів.

Для задоволення таких потреб моделі, були обрані рухомі елементи від компанії Tower Pro, серводвигуни якої вже були обрані. Рухомі елементи зображені на рисунку 5.6.



Рисунок 5.6 – Рухомі елементи від компанії Tower Pro [35]

Основним критерієм вибору стала сумісність з серводвигуном SG51R та можливість придбання цих рухомих елементів разом з серводвигунами в пропорційній кількості.

Також важливою причиною вибору стала видовжена форма рухомих елементів, що дозволить ефективно збуджувати окремі струни на достатній для оптимального розташування відстані [34].

### 5.5 Кроковий двигун

Для моделі було обрано кроковий двигун Uxcell 2PCS 24BYJ48, що зображено на рисунку 5.7.

					IA61.220БАК.005 ПЗ	A
З	А	№ докум.	Підп	Д		47



Рисунок 5.7 – Кроковий двигун Uxcell 2PCS 24BYJ48 [37]

Його основними перевагами над аналогами стали достатня для потреб моделі потужність, та висока точність, що є важливим атрибутом для приближення до еталонного звучання інструментів, що налаштовуються.

Також важливою перевагою є його низька гучність роботи. Це є важливим фактором, оскільки шум роботи двигуна може являтися завадою для точного сприйняття звуку коливання струни мікрофоном. Це може призвести до спотворення даних, та, в подальшому до неточної настройки інструменту.

Обраний двигун має розміри 24 x 19 мм. Та вагу 64г, що є важливим, оскільки надлишкові розміри чи вага можуть привести до громіздкості системи та значних ускладнень у використанні чи переносці [36].



## 5.6 Драйвер крокових двигунів

Драйвер крокових двигунів повинен мати змогу забезпечити енергією всі крокові двигуни, що будуть використовуватися. Також він повинен забезпечити можливість централізованого керування двигунів контролером.

Враховуючи ці вимоги був обраний драйвер крокових двигунів Adafruit Motor/Stepper/Servo Shield - v2.3 від компанії Adafruit, що зображено на рисунку 5.8.

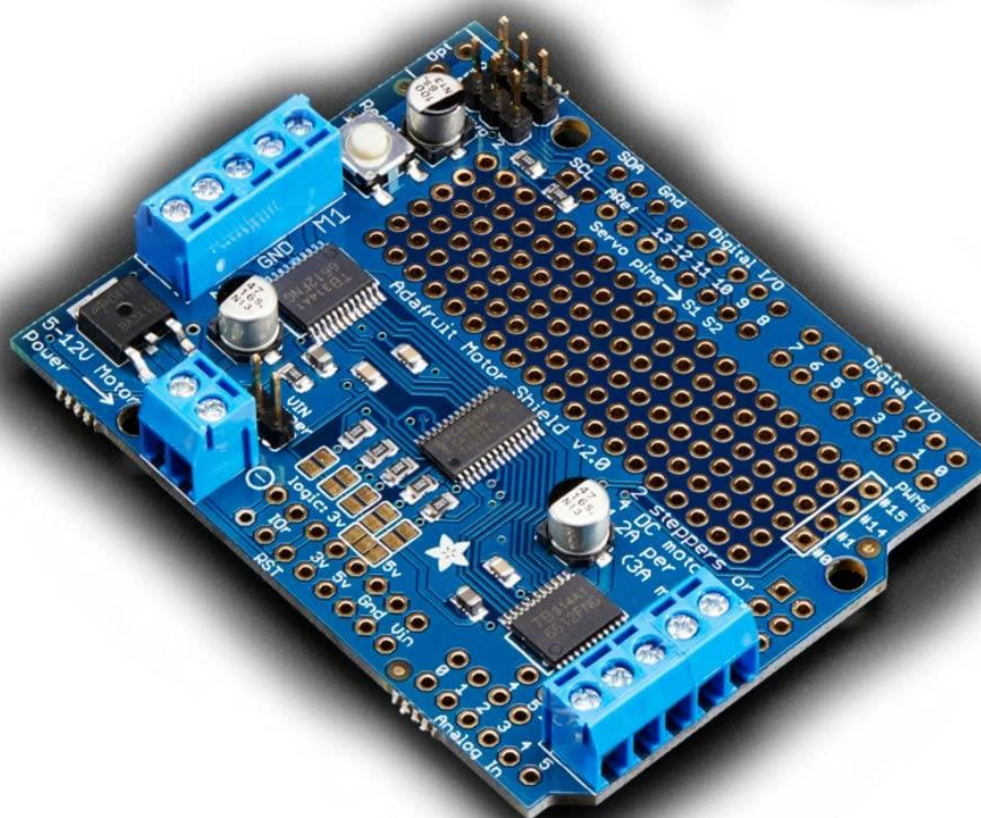


Рисунок 5.8 – Adafruit Motor/Stepper/Servo Shield - v2.3 [39]

Обраний драйвер дає можливість приєднати до двох крокових двигунів. Але його головною особливістю є спосіб приєднання драйверу до контролеру. Цей драйвер є, так званою, платою розширення для контролерів сімейства Arduino. Він приєднується зверху основної плати, покриваючи її.

Основною причиною вибору саме цього драйверу крокових двигунів є його можливість повторного приєднання до плати контролера, що ілюструє рисунок 5.9.

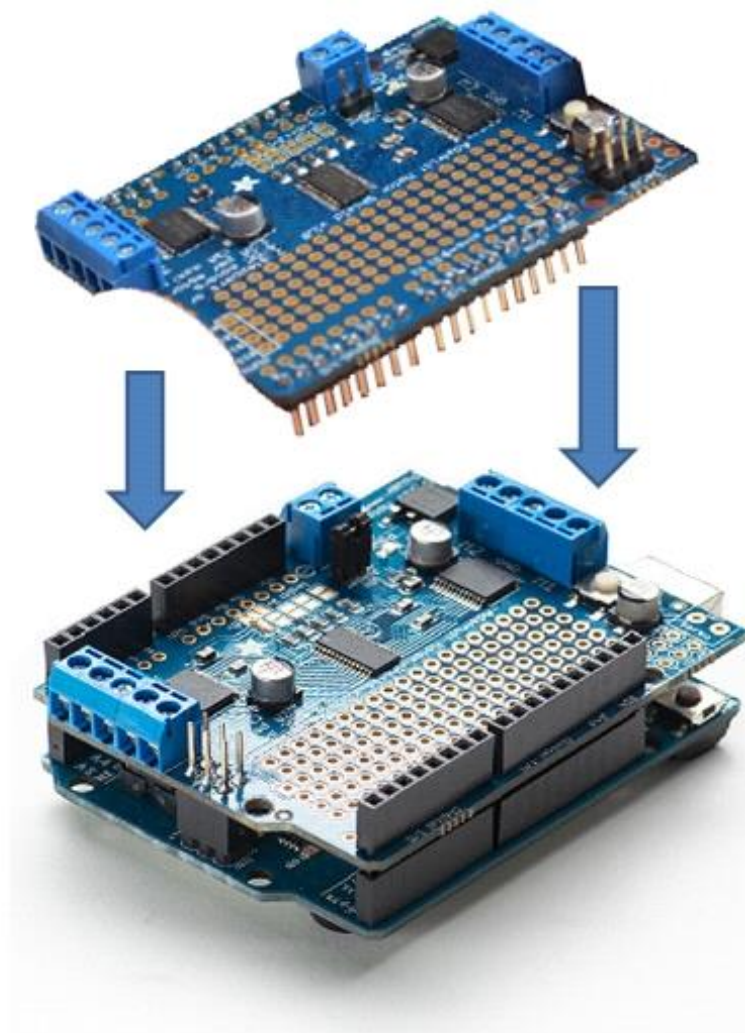


Рисунок 5.9 – Під'єднання додаткового драйверу крокових двигунів [40]

Виробником заявлена сумарна можливість підключення до 32 таких плат розширення, а отже можливо під'єднати до 64 крокових двигунів. Це більш ніж повністю покриває потреби системи.

Також виробник постачає зручну бібліотеку для керування кроковими двигунами, що безперечно є вагомою перевагою використання обраного драйвера [38].

## 5.7 Насадки на кілки

Насадки на кілки є змінним елементом системи, що залежить від типу інструмента для настройки, а також від можливих видів кілків.

Насадки на кілки повинні задовольняти одночасно дві необхідні умови:

- а) забезпечити зчеплення з кілками інструментів;
- б) мати можливість приєднання до крокових двигунів;
- в) мати можливість при бажанні вільно змінювати насадку.

Для вибору насадки важливо представляти як виглядають різні види кілків (рисунок 5.10). Можна побачити, що вони мають схожу форму. Це дозволяє використання насадки з конструктивним дизайном, що орієнтований на універсальність.



Рисунок 5.10 – Різні види кілків [41]

Оглянувши можливі варіанти насадок для різних музичних інструментів, було обрано насадку MX0136D, що зображена на рисунку 5.11.



Рисунок 5.11 – Насадка MX0136D [43]

Насадка створена з пластику, та має металеве кріплення, гексагональної форми діаметром 6 мм. Насадка, за задумкою виробника, призначена для закріплення в патроні електродрилі.

Основним критерієм вибору насадки став її продуманий конструктивний дизайн, що забезпечує можливість використання з великою кількістю інструментів. Виробником заявлена сумісність з кілками всіх видів гітар, укулеле, банджо та мандолін [42].

Залишається забезпечити виконання двох інших необхідних умов, а саме – забезпечити можливість приєднання насадки до крокових двигунів та можливість при необхідності змінювати насадку.

Для цього були обрані гнучкі алюмінієві муфти з розмірами отворів 5мм та 6мм. Муфта зображена на рисунку 5.12.



Рисунок 5.12 – Гнучка алюмінієва муфта [45]

Причиною вибору цих гнучких алюмінієвих муфт стала їх можливість приєднання до крокових двигунів з діаметром валу 5 мм, а отже вони сумісні з кроковим двигуном Uxcell 2PCS 24BYJ48, що вже був обраний для використання.

Також обрана муфта сумісна з обраною насадкою, оскільки другий її отвір має діаметр 6мм, що співпадає з діаметром кріплення насадки.

Конструкцією муфти передбачена можливість фіксації з'єднаних елементів за допомогою закрутки болтів в отвори з різьбою по бокам муфти [44]. Ці отвори добре видно на рисунку 5.12.

Отримана конструкція зможе ефективно передавати обертаючий момент від крокового двигуна, та, буде універсальною для кілків різних струнних музичних інструментів.



## 5.8 Мікрофон

Було обрано мікрофон Uxcell KY-037 від компанії Uxcell, що зображено на рисунку 5.13.

Ключовими характеристиками стали:

- а) невисока ціна;
- б) наявність поролонового шумоподавлювача;
- в) компактні розміри (35 x 15 мм);
- г) можливість регулювання чутливості [46].

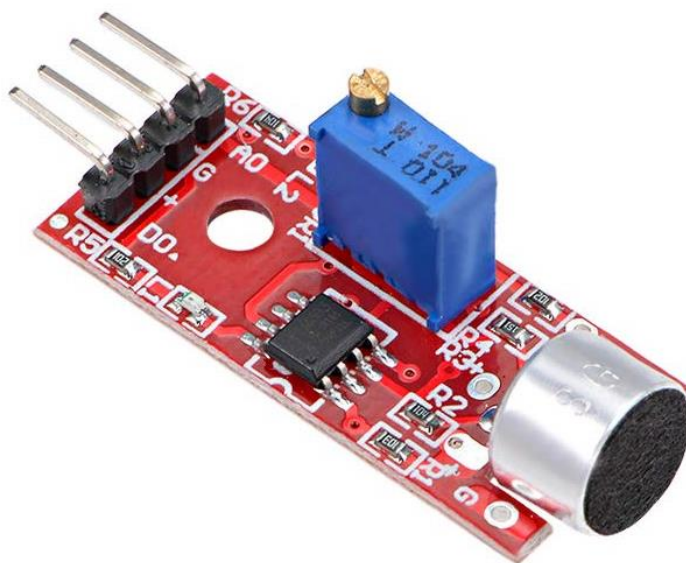


Рисунок 5.13 – Мікрофон Uxcell KY-037 [47]

## 5.9 BMS

Було обрано контролер BMS 3S 40A, що зображений на рисунку 5.14.

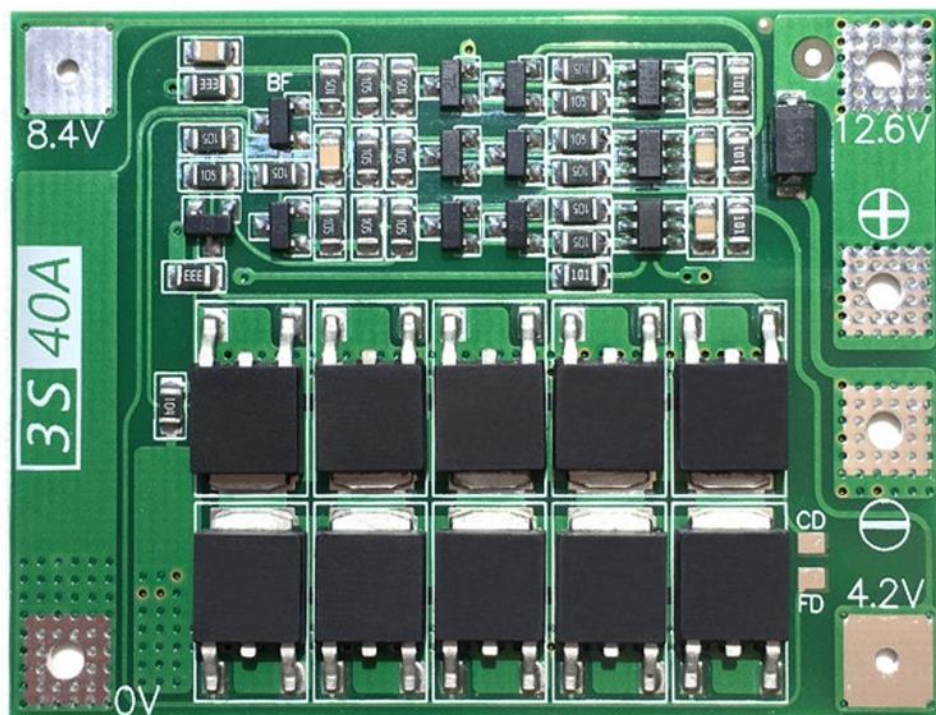


Рисунок 5.14 – BMS 3S 40A [49]

Обраний BMS розроблений для роботи з трьома літійовими акумуляторами з максимальною напругою 12,6 В.

Причиною вибору цього BMS, стали його характеристики, що є достатніми для захисту елементів системи від перезаряду, перерозряду та короткого замикання.

Тобто, BMS забезпечує можливість стабільної автономної роботи системи та збільшує період експлуатації акумуляторів.

BMS передбачає роботу з трьома літійовими акумуляторами з номінальною напругою 3,7 В, та максимальною напругою 4,2 В [48].

На рисунку 5.15 зображена схема підключення BMS до акумуляторів та системи.

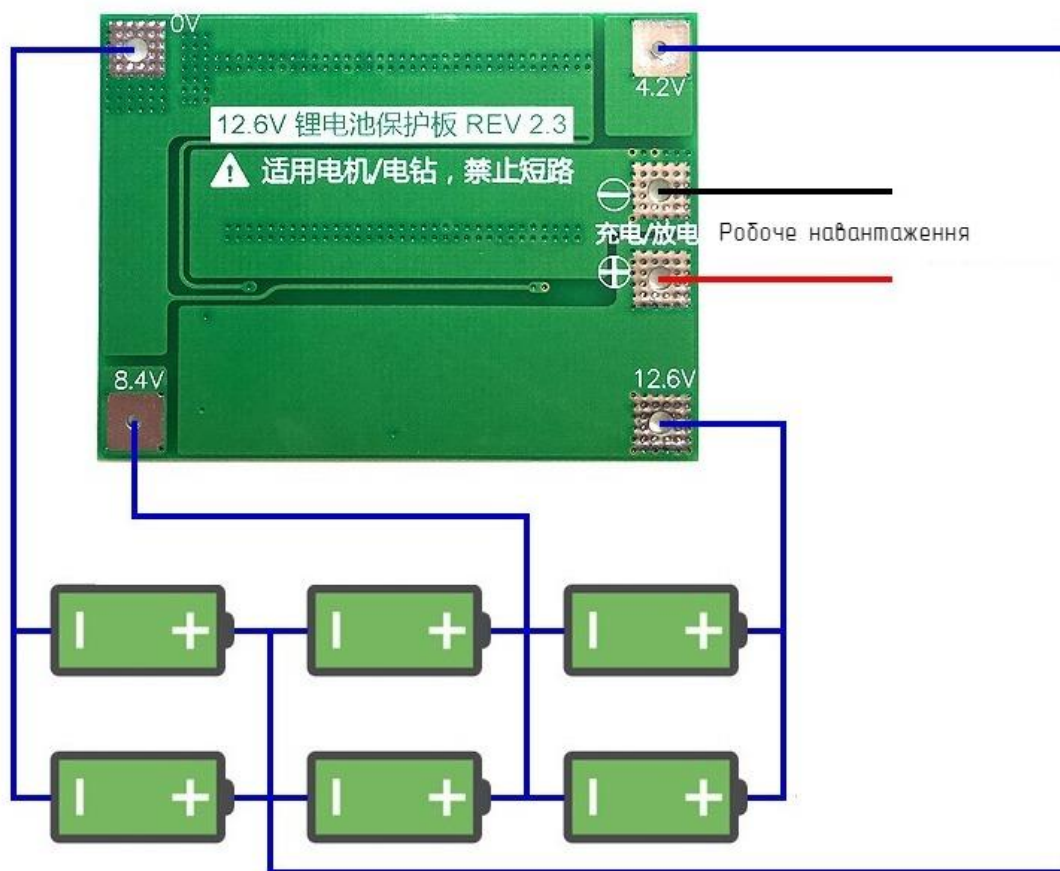


Рисунок 5.15 – Схема підключення BMS до акумуляторів та системи [50]

## 5.10 Батарейний відсік

Було обрано батарейний відсік що зображено на рисунку 5.16.

Батарейний відсік має місце для трьох одноразових батарейок чи акумуляторів типорозміру AA та напругою 3,7 В. Сумарна напруга на виході батарейного відсіку задовольняє потреби як контролера, так і потреби моторів, що використовуються [51].



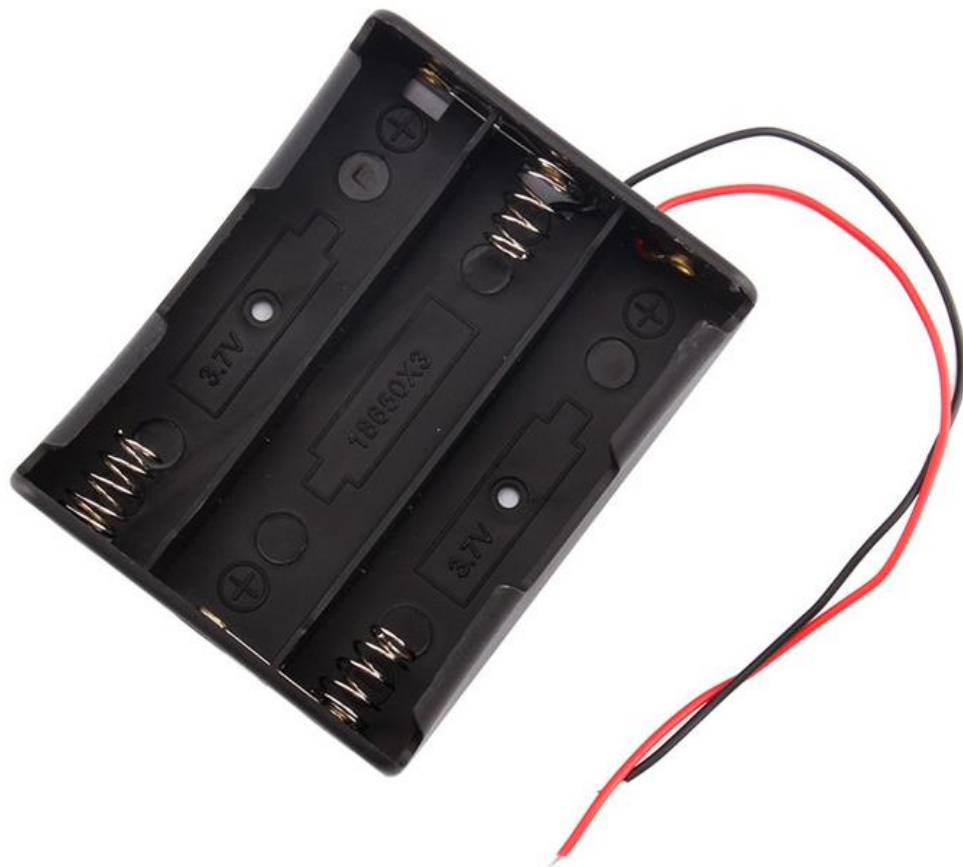


Рисунок 5.16 – Батарейний відсік [52]

Основними критеріями вибору стали, малі розміри акумуляторного боксу та достатній максимальний вольтаж, що є важливим оскільки це задовольняє потреби системи в живленні контролеру, драйверу сервомоторів та драйверу крокових двигунів.

### 5.11 Акумулятори

Було обрано акумулятори INR18650 25R від виробника Samsung, що зображені на рисунку 5.17.

Акумулятори можуть працювати при постійному навантаженні до 20 А та при короткочасному (1 сек) до 100 А. Мають ємність 2500 mAh, що достатньо для довготривалої автономної роботи системи.

Критерієм вибору стали необхідний вольтаж (3,7 В), ціна та достатня комплектація доступна для придбання [53].



Рисунок 5.17 – Samsung INR18650 25R [54]

## ВИСНОВКИ

У ході розроблення дипломного проекту, система автоматичного налаштування струнних музичних інструментів, було розглянуто існуючі аналоги систем автоматичного налаштування музичних інструментів, проаналізовано їх переваги та недоліки, розглянуто основні принципи їх роботи та розроблено власну концепцію з можливим варіантом її реалізації.

Розроблена система передбачає можливість роботи з струнними музичними інструментами, що мають до семи струн. Але система добре масштабується і, при виборі компонентів можна значно розширити максимально можливу кількість струн шляхом збільшення кількості сервомоторів та крокових двигунів, та, при необхідності збільшення кількості їх драйверів.

У процесі опису компонентів були підібрані та описані компоненти, що необхідні для роботи системи. Було описано інтерфейси що використовуються, та перевірена сумісність всіх розглянутих компонентів системи між собою.

У процесі розроблення дипломного проекту були побудовані структурна та функціональна схеми системи, що описують різні блоки системи та їх функції. Також були побудовані блок схеми загального алгоритму роботи системи та математичного алгоритму швидкого перетворення Фур'є, що використовується контролером для аналізу звукових коливань струн, а саме, для обчислення їх частоти.

Був реалізований алгоритм швидкого перетворення Фур'є та процес порівняння частот з еталонними варіантами в програмному середовищі MATLAB. Створена модель, при використанні спеціалізованих плагінів для програмного середовища MATLAB, може бути використана на підібраному для системи контролері.

					IA61.220BAK.005 ПЗ	А 59
З	А	№ докум.	Підп	Д		

Описана система має можливості для вдосконалення в майбутньому. Наприклад, може бути розроблена більш зручна система кріплення системи, або розширена можливість настройки і на електронні інструменти, наприклад, електрогітари.

					ІА61.220БАК.005 ПЗ	А
З	А	№ докум.	Підп	Д		60

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Струнні музичні інструменти – Wikipedia. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BD%D0%BD%D1%96\\_%D0%BC%D1%83%D0%B7%D0%B8%D1%87%D0%BD%D1%96\\_%D1%96%D0%BD%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B8](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BD%D0%BD%D1%96_%D0%BC%D1%83%D0%B7%D0%B8%D1%87%D0%BD%D1%96_%D1%96%D0%BD%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B8) (дата звернення 29.03.2020).
2. Класифікація Горнбостеля-Закса – Wikipedia. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BB%D0%B0%D1%81%D0%B8%D1%84%D1%96%D0%BA%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%8F\\_%D0%93%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B1%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8F-%D0%97%D0%B0%D0%BA%D1%81%D0%B0](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BB%D0%B0%D1%81%D0%B8%D1%84%D1%96%D0%BA%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%8F_%D0%93%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B1%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8F-%D0%97%D0%B0%D0%BA%D1%81%D0%B0) (дата звернення 29.04.2020).
3. Зображення коливання струн. URL: <https://i.ytimg.com/vi/mfArNffIG3Y/maxresdefault.jpg> (дата звернення 29.04.2020).
4. Струна – Wikipedia. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BD%D0%B0> (дата звернення 30.04.2020).
5. Зображення видів обмоток. URL: <http://bass-player.ru/wp-content/uploads/2012/07/%D0%9E%D0%B1%D0%BC%D0%BE%D1%82%D0%BA%D0%B0.jpeg> (дата звернення 30.04.2020).
6. Класифікація струн по натягу. URL: <https://8nota.com.ua/ru/news/iak-vibrati-struni-dlia-gitari-tipi-materiali-virobniki> (дата звернення 30.04.2020).
7. Snark SN-8. URL: <https://www.amazon.com/Snark-Super-Tight-Instrument-Tuner/dp/B00646MZHК> (дата звернення 5.05.2020).

8. Зображення Snark SN-8. URL: [https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/71NAKKZtTIL.\\_AC\\_SL1500\\_.jpg](https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/71NAKKZtTIL._AC_SL1500_.jpg) (дата звернення 5.05.2020).

9. Roadie tuner. URL: <https://www.kickstarter.com/projects/roadietuner/roadie-tuner-the-ultimate-guitarist-tool/description> (дата звернення 5.05.2020).

10. Зображення Roadie tuner. URL: [https://cdn6.aptoide.com/imgs/a/5/8/a58a84d4a379ba6746f73e2fdb2e68bf\\_screen.jpg?h=500](https://cdn6.aptoide.com/imgs/a/5/8/a58a84d4a379ba6746f73e2fdb2e68bf_screen.jpg?h=500) (дата звернення 5.05.2020).

11. Зображення будови Roadie tuner. URL: [https://ksr-ugc.imgix.net/assets/001/325/811/279ef820ac30b9242ed1e0a6ddbd1f90\\_original.jpg?ixlib=rb-](https://ksr-ugc.imgix.net/assets/001/325/811/279ef820ac30b9242ed1e0a6ddbd1f90_original.jpg?ixlib=rb-)

[2.1.0&w=680&fit=max&v=1384413903&auto=format&frame=1&q=92&s=144a4a8e73c835c1bd2b7032fdf117f1](https://ksr-ugc.imgix.net/assets/001/325/811/279ef820ac30b9242ed1e0a6ddbd1f90_original.jpg?ixlib=rb-2.1.0&w=680&fit=max&v=1384413903&auto=format&frame=1&q=92&s=144a4a8e73c835c1bd2b7032fdf117f1) (дата звернення 5.05.2020).

12. Smart Tuner T2. URL: <https://www.jowoom.com/smart-tuner-t2> (дата звернення 6.05.2020).

13. Зображення Smart Tuner T2. URL: [https://static.wixstatic.com/media/a99350\\_a3223d96b2e0493dbd97b51787add67e~mv2\\_d\\_2049\\_2048\\_s\\_2.png/v1/fill/w\\_491,h\\_490,al\\_c,q\\_85,usm\\_0.66\\_1.00\\_0.01/web\\_img03.webp](https://static.wixstatic.com/media/a99350_a3223d96b2e0493dbd97b51787add67e~mv2_d_2049_2048_s_2.png/v1/fill/w_491,h_490,al_c,q_85,usm_0.66_1.00_0.01/web_img03.webp) (дата звернення 6.05.2020).

14. Зображення напів-автоматичного режиму роботи тюнера. URL: [https://ae01.alicdn.com/kf/Hb1d828cefab64f67a0a9979ae42d612eZ/JOWOOM-T2.jpg\\_640x640q70.jpg](https://ae01.alicdn.com/kf/Hb1d828cefab64f67a0a9979ae42d612eZ/JOWOOM-T2.jpg_640x640q70.jpg) (дата звернення 6.05.2020).

15. Tronical tune. URL: <https://www.tronicaltune.com/?v=3a52f3c22ed6> (дата звернення 6.05.2020).

16. Зображення Tronical tune. URL: <https://assets.catawiki.nl/assets/2018/1/18/3/2/6/3264901e-21fa-40c1-9c1f-e36d0f199942.jpg> (дата звернення 6.05.2020).

					ІА61.220БАК.005 ПЗ	А
З	А	№ докум.	Підп.	Д		62

17. Зображення моторизованого кілка Tronical tune. URL: <https://www.tronicaltune.com/wp-content/uploads/2020/02/robohead-transparent-378x400.jpg> (дата звернення 6.05.2020).
18. Алгоритм швидкого перетворення Фур'є. URL: <http://www.dspguide.com/ch12/2.htm> (дата звернення 13.05.2020).
19. Зображення процедури розкладання сигналу. URL: [http://www.dspguide.com/graphics/F\\_12\\_2.gif](http://www.dspguide.com/graphics/F_12_2.gif) (дата звернення 13.05.2020).
20. Зображення процедури перерозподілу відліків сигналу. URL: [http://www.dspguide.com/graphics/F\\_12\\_3.gif](http://www.dspguide.com/graphics/F_12_3.gif) (дата звернення 13.05.2020).
21. Зображення процедури синтезу частотного спектру сигналу. URL: [http://www.dspguide.com/graphics/F\\_12\\_4.gif](http://www.dspguide.com/graphics/F_12_4.gif) (дата звернення 13.05.2020).
22. Зображення схеми суміщення двох 4-х точкових спектрів в один 8-ми точковий. URL: [http://www.dspguide.com/graphics/F\\_12\\_5.gif](http://www.dspguide.com/graphics/F_12_5.gif) (дата звернення 13.05.2020).
23. Зображення схеми «метелика». URL: [http://www.dspguide.com/graphics/F\\_12\\_6.gif](http://www.dspguide.com/graphics/F_12_6.gif) (дата звернення 13.05.2020).
24. Контролер Arduino Uno R3. URL: [https://www.amazon.com/dp/B008GRTSV6/ref=cm\\_sw\\_r\\_tw\\_dp\\_U\\_x\\_dS7YEBcYP9QPQ](https://www.amazon.com/dp/B008GRTSV6/ref=cm_sw_r_tw_dp_U_x_dS7YEBcYP9QPQ) (дата звернення 15.05.2020).
25. Характеристики контролера Arduino Uno R3. URL: <https://doc.arduino.ua/ru/hardware/Uno> (дата звернення 15.05.2020).
26. Зображення Arduino Uno R3. URL: [https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/41RPGxLozoL.\\_AC\\_.jpg](https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/41RPGxLozoL._AC_.jpg) (дата звернення 15.05.2020).
27. Серводвигун Tower Pro Sub-micro Servo - SG51R. URL: [https://www.amazon.com/Servo-Motors-Sub-Micro-SG51R-piece/dp/B0137LG0KW?ref\\_=fsclp\\_pl\\_dp\\_9](https://www.amazon.com/Servo-Motors-Sub-Micro-SG51R-piece/dp/B0137LG0KW?ref_=fsclp_pl_dp_9) (дата звернення 15.05.2020).

28. Зображення серводвигуна Tower Pro Sub-micro Servo - SG51R. URL: [http://www.rcdrive.ru/i/catalog/towerpro-SG51R-servo\\_1.jpg](http://www.rcdrive.ru/i/catalog/towerpro-SG51R-servo_1.jpg) (дата звернення 15.05.2020).
29. Серводвигун PCA9685. URL: [https://www.amazon.com/dp/B014KTSMLA/ref=cm\\_sw\\_r\\_tw\\_dp\\_U\\_x\\_jN7YEB92DG97A](https://www.amazon.com/dp/B014KTSMLA/ref=cm_sw_r_tw_dp_U_x_jN7YEB92DG97A) (дата звернення 16.05.2020).
30. Характеристики серводвигуна PCA9685. URL: <https://learn.adafruit.com/16-channel-pwm-servo-driver?view=all> (дата звернення 16.05.2020).
31. Зображення серводвигуна PCA9685. URL: [https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/61eia-FpvuL.\\_AC\\_SL1000\\_.jpg](https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/61eia-FpvuL._AC_SL1000_.jpg) (дата звернення 16.05.2020).
32. Зображення схеми підключення драйвера PCA9685. URL: [https://cdn-learn.adafruit.com/assets/assets/000/002/222/original/adafruit\\_products\\_AllServos\\_bb-1024.jpg?1396780612](https://cdn-learn.adafruit.com/assets/assets/000/002/222/original/adafruit_products_AllServos_bb-1024.jpg?1396780612) (дата звернення 16.05.2020).
33. Рухомі елементи. URL: <https://protosupplies.com/product/servo-motor-micro-sg90/> (дата звернення 16.05.2020).
34. Зображення рухомих елементів. URL: <https://protosupplies.com/wp-content/uploads/2018/03/Servo-SG-90.JPG-Accessories-2.jpg> (дата звернення 16.05.2020).
35. Кроковий двигун Uxcell 2PCS 24BYJ48 .URL: [https://www.amazon.com/dp/B07QX8NGWP/ref=cm\\_sw\\_r\\_tw\\_dp\\_U\\_x\\_tXc5EbADJ1P6V](https://www.amazon.com/dp/B07QX8NGWP/ref=cm_sw_r_tw_dp_U_x_tXc5EbADJ1P6V) (дата звернення 19.05.2020).
36. Зображення крокового двигуна Uxcell 2PCS 24BYJ48. URL: <https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/41icqxbJCL.jpg> (дата звернення 19.05.2020).
37. Adafruit Motor/Stepper/Servo Shield for Arduino v2 Kit - v2.3. URL: [https://www.amazon.com/dp/B00PUTH3B0/ref=cm\\_sw\\_r\\_tw\\_dp\\_U\\_x\\_Qjf5EbYFZJDT6](https://www.amazon.com/dp/B00PUTH3B0/ref=cm_sw_r_tw_dp_U_x_Qjf5EbYFZJDT6) (дата звернення 19.05.2020).

					ІА61.220БАК.005 ПЗ	А
З	А	№ докум.	Підп	Д		
						64



38. Зображення Adafruit Motor/Stepper/Servo Shield v2.3. URL: [https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/61NJZgUqAqL.\\_AC\\_SL1006\\_.jpg](https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/61NJZgUqAqL._AC_SL1006_.jpg) (дата звернення 19.05.2020).

39. Зображення під'єднання додаткового драйверу крокових двигунів. URL: <https://www.meccanismocomplesso.org/wp-content/uploads/2014/05/stackable.jpg> (дата звернення 19.05.2020).

40. Зображення різних видів кілків. URL: <https://www.strunki.ru/assets/images/Actions/2399002813.jpg> (дата звернення 19.05.2020).

41. Насадка MX0136D. URL: [https://www.amazon.com/dp/B086HMX3T1/ref=cm\\_sw\\_r\\_tw\\_dp\\_U\\_x\\_drf5EbTPHDDM2](https://www.amazon.com/dp/B086HMX3T1/ref=cm_sw_r_tw_dp_U_x_drf5EbTPHDDM2) (дата звернення 19.05.2020).

42. Зображення насадки MX0136D. URL: [https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/41t8xwLgfXL.\\_AC\\_SL1001\\_.jpg](https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/41t8xwLgfXL._AC_SL1001_.jpg) (дата звернення 19.05.2020).

43. Гнучка алюмінієва муфта. URL: [https://www.amazon.com/dp/B07YDJK4BM/ref=cm\\_sw\\_r\\_tw\\_dp\\_U\\_x\\_W1c5Eb0B3MGR1](https://www.amazon.com/dp/B07YDJK4BM/ref=cm_sw_r_tw_dp_U_x_W1c5Eb0B3MGR1) (дата звернення 19.05.2020).

44. Зображення гнучкої алюмінієвої муфти. URL: [https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/515CHR2iDZL.\\_SL1100\\_.jpg](https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/515CHR2iDZL._SL1100_.jpg) (дата звернення 19.05.2020).

45. Мікрофон Uxcell KY-037. URL: <https://www.amazon.com/dp/B07W3HQQY9> (дата звернення 23.05.2020).

46. Зображення мікрофону Uxcell KY-037. URL: [https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/51uxTy0hEJL.\\_SL1100\\_.jpg](https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/51uxTy0hEJL._SL1100_.jpg) (дата звернення 23.05.2020).

47. BMS 3S 40A. URL: <https://bms.com.ua/pcm-bms/21-pcm-bms-3s-40a.html> (дата звернення 23.05.2020).

					ІА61.220БАК.005 ПЗ	А
З	А	№ докум.	Підп	Д		65

48. Зображення BMS 3S 40A. URL: [https://bms.com.ua/72-large\\_default/pcm-bms-3s-40a.jpg](https://bms.com.ua/72-large_default/pcm-bms-3s-40a.jpg) (дата звернення 23.05.2020).

49. Зображення схеми підключення BMS до акумуляторів та системи. URL: [https://bms.com.ua/73-large\\_default/pcm-bms-3s-40a.jpg](https://bms.com.ua/73-large_default/pcm-bms-3s-40a.jpg) (дата звернення 23.05.2020).

50. Батарейний відсік. URL: <https://prom.ua/ua/p294510135-akkumulyatornyjbatarejnyj-otsek-18650.html> (дата звернення 23.05.2020).

51. Зображення батарейного відсіку. URL: [https://images.ua.prom.st/424022418\\_w640\\_h640\\_akkumulyatornyjbatarejnyj-otsek-na.jpg](https://images.ua.prom.st/424022418_w640_h640_akkumulyatornyjbatarejnyj-otsek-na.jpg) (дата звернення 23.05.2020).

52. Акумулятори. URL: <https://bms.com.ua/18650/24-samsung-inr18650-25r-2500mah-8438493100709.html> (дата звернення 25.05.2020).

53. Зображення акумуляторів. URL: [https://bms.com.ua/201-thickbox\\_default/samsung-inr18650-25r-2500mah.jpg](https://bms.com.ua/201-thickbox_default/samsung-inr18650-25r-2500mah.jpg) (дата звернення 25.05.2020).

					ІА61.220БАК.005 ПЗ	А
З	А	№ докум.	Підп	Д		66